

不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响

田太安¹ 刘健锋¹ 于晓飞² 董祥立³ 李治模³ 杨茂发^{1,2*}

(1. 贵州大学昆虫研究所, 贵州省山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州大学烟草学院, 贵阳 550025; 3. 贵州省烟草公司遵义市公司凤冈县分公司, 遵义 564200)

摘要: 为评价杀虫灯对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的非直接诱杀效应, 在室内观察黑暗、紫色 (365~375 nm)、蓝色 (460~475 nm) 和绿色 (490~505 nm) 弱光对草地贪夜蛾生殖行为的影响, 分析不同光源处理对草地贪夜蛾求偶、交配和产卵行为的影响。结果表明, 在第 1 个暗期内, 紫色光源会显著延迟草地贪夜蛾雌成虫求偶开始时间和交配开始时间, 而在之后的 3 个暗期中, 紫色、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配高峰期较黑暗处理提前, 产卵节律没有明显差异; 在第 1 个暗期内, 紫色、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配时间差异不显著, 但在 4 个连续暗期下, 黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫的累计交配时间显著高于其它 3 种光源处理; 黑暗、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的初次交配时间主要集中在第 1 个暗期, 分别占 50.00%、50.00% 和 63.33%, 而紫色光源下雌成虫初次交配时间主要集中在第 2 个暗期, 占 47.67%; 黑暗、紫色、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配次数最高分别为 5、3、2 和 3 次, 交配次数均以 1 次最多, 显著多于其它交配次数; 黑暗处理下, 各暗期草地贪夜蛾雌成虫交配率之间差异不明显, 而在蓝色、紫色和绿色光源下, 各暗期之间存在显著差异。表明紫色、蓝色和绿色光源干扰能显著影响草地贪夜蛾的交配行为, 其中紫光影响最明显。

关键词: 草地贪夜蛾; 生殖行为; 光源; 干扰

Effects of different light resources on the reproductive behavior of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

TIAN Tai'an¹ LIU Jianfeng¹ YU Xiaofei² DONG Xiangli³ LI Zhimo³ YANG Maofa^{1,2*}

(1. Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Regions, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou Province, China; 2. College of Tobacco Science, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou Province, China; 3. Fenggang Branch of Guizhou Tobacco Company, Zunyi 564200, Guizhou Province, China)

Abstract: In order to evaluate the efficacy of insecticidal lamps on fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the effects of dark, purple (365–375 nm), blue (460–475 nm) and green (490–505 nm) weak light (5 lx) on the courtship, mating and oviposition behaviors of *S. frugiperda* were observed in the laboratory. The results showed that during the scotophase 1 (2-day-old adult), calling start time and mating start time of *S. frugiperda* were significantly later than the other three treatments under the purple. In the following three scotophase, the mating peak period of purple, blue and green light sources were earlier than the dark treatment, and there was no obvious different in the ovulating rhythm. In the scotophase 1, the mating time of *S. frugiperda* for female adults under the three light resources was not significant. But under

基金项目: 2019年贵州省农业生产防灾救灾资金(农作物病虫害防治专项), 贵州省高层次创新型人才(“百”层次)培养项目, 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目(201705)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: gdgdly@126.com

收稿日期: 2020-05-27

the condition of four consecutive scotophase the cumulative mating time of *S. frugiperda* female adults under dark treatment was significantly higher than those of purple, blue and green. The first mating time of female adults under dark, blue and green light resources were mainly concentrated in scotophase 1, accounting for 50.00%, 50.00% and 63.33%, respectively, while under weak purple light the first mating time of female adults was mainly concentrated in scotophase 2 (3-day-old adults, 47.67%). The distribution of the cumulative number of mating of *S. frugiperda* under the dark, purple, blue and green light were the highest in one time, which was significantly higher than those of other mating times. The highest number of mating for female adults was 5, 3, 2 and 3, respectively. Between the scotophase, the mating rate of *S. frugiperda* under the dark treatment was not significant, but the mating rates under purple light resources, blue light resources and green light sources were significantly different. The mating rate of *S. frugiperda* female adults was not significant under 4 scotophase. The results indicated that different light resources interference can significantly affect the reproductive behavior of *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; reproductive behavior; light resource; interference

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科, 其寄主广泛, 可为害玉米、高粱、棉花、水稻和牧草等 76 科 353 种寄主植物, 是源自美洲地区的重要迁飞性害虫 (Westbrook et al., 2016; 郭井菲等, 2018)。2019 年 1 月草地贪夜蛾在云南省江城首次被报道, 随后其不断在国内迅速扩散, 截至 9 月, 其为害面积已达 16.4 万 hm^2 , 给我国农业经济带来巨大损失 (潘文博, 2019)。化学防治虽然能够快速高效地防治草地贪夜蛾, 但是长期使用易引起草地贪夜蛾产生抗药性, 据报道该虫已经对拟除虫菊酯、双酰胺等常用杀虫剂产生一定程度抗性 (王芹芹等, 2019), 因此寻求新的草地贪夜蛾防控方法显得尤为重要。

杀虫灯作为一种常用的物理防治方法, 利用昆虫特有的趋光特性, 对靶标害虫直接进行诱杀, 不易使靶标害虫产生抗性, 高效, 环保。昆虫成虫复眼内的光感受器一般分为紫外光敏感型、蓝光敏感型和绿光敏感型 3 种类型, 不同光感受器对不同光谱的反应不同。大多数昆虫对紫外光、蓝光和绿光表现出较强的趋性 (桑文等, 2019), 如斜纹夜蛾 *S. litura* 敏感光谱位于近紫外光区 380 nm、蓝光区 460 nm 和绿光区 500 nm 处 (田太安等, 2019); 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 成虫对紫外光 333~383 nm、蓝光 400~450 nm 和绿光 525~538 nm 区段有明显的趋性 (丁岩钦等, 1974; 魏国树等, 2000); 草地贪夜蛾对波长为 380~780 nm 光谱有较强的趋性 (Liu et al., 2020)。将杀虫灯设置为靶标昆虫敏感波长能显著提高诱杀效果。此外, 光环境作为自然环境中最重要因素之一, 能调控昆虫生长发育、捕食能力和生殖行为 (Firebaugh & Haynes, 2016; 许喆等, 2019)。随着杀

虫灯的介入, 昆虫自然光环境会发生改变, 从而影响昆虫的正常行为活动, 如毛健夜蛾 *Brithys crini* 交配高峰期和产卵高峰期因暗期位点不同而异 (邱小芳等, 2016); 随着照射光波长增加, 异色瓢虫 *Harmoina axyridis* 交配持续时间和交配间隔时间会显著降低, 其产卵量和孵化率在不同波长照射下也存在显著差异 (王甦等, 2014)。目前国内外关于杀虫灯对草地贪夜蛾成虫直接诱杀作用的报道较多 (Baust et al., 1981; Sparks et al., 1986; 吴孔明, 2020), 但其对草地贪夜蛾成虫生殖行为影响的报道较少。

为明确不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响, 本研究利用不同波长 (颜色) 弱光对草地贪夜蛾雌、雄成虫进行照射处理, 观察不同光源下其求偶、交配和产卵节律, 记录求偶开始时间、求偶持续时间、交配开始时间和交配持续时间, 以期利用灯光诱杀草地贪夜蛾成虫提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源和植物: 于 2019 年 7 月 2 日自贵州省遵义市凤冈县进化镇临江村玉米田 ($107^{\circ}40'41''\text{E}$, $27^{\circ}46'44''\text{N}$) 采集草地贪夜蛾幼虫, 带回实验室。玉米品种为临奥一号, 种子购于北京奥瑞金种业有限公司, 将玉米种子撒于长 50 cm、宽 30 cm、高 10 cm 塑料托盘内, 用基质覆盖, 待玉米苗长至 10 cm 后作为食料用来饲喂草地贪夜蛾。草地贪夜蛾和玉米苗均在温度为 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(70\pm 5)\%$ 、光周期为 14 L:10 D 的人工气候室内饲养和种植。

基质和仪器: 烟草漂浮育苗基质, 遵义大兴复肥有限责任公司。紫色 LED 灯 (波长 365~375 nm)、蓝

色LED灯(波长460~475 nm)和绿色LED灯(波长490~505 nm),光照强度均为5 lx,徐州爱佳电子科技有限公司;SW-582型照度计,东莞市森威电子有限公司;长50 cm、宽30 cm、高10 cm塑料托盘,威海市都程塑料有限公司;长60 cm、宽40 cm、高30 cm养虫笼,自制。

1.2 方法

1.2.1 不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响

将采集的草地贪夜蛾幼虫置于长50 cm、宽30 cm、高10 cm塑料托盘中饲养,托盘底部铺5 cm厚的基质,便于老熟幼虫入土化蛹,将塑料托盘置于长60 cm、宽40 cm、高30 cm自制养虫笼内,用新鲜玉米苗饲喂,每天定时更换;幼虫入土化蛹后,每天向托盘内喷适量水使土层保湿,直至羽化;将羽化雌、雄成虫按1:1于直径5 cm、高10 cm塑料杯中配对,杯底放有浸10%蜂蜜水的脱脂棉球,供其补充营养,杯口用160目纱布封住,用橡皮筋捆好纱布,待产卵后,收集卵粒;将收集的卵粒置于底铺有湿润滤纸、直径6 cm、高4 cm的塑料盒中,待卵孵化后,打开盖子将其置于长50 cm、宽30 cm、高10 cm托盘中,该托盘中种植有玉米苗,让初孵幼虫自行爬上寄主取食,连续培养至第5代成虫作为供试虫源。

为保证试验前草地贪夜蛾雌、雄成虫无交配行为,将连续培养至第5代的草地贪夜蛾雌、雄蛹分别置于不同养虫笼中,待羽化后取2日龄草地贪夜蛾雌、雄成虫各1头于直径5 cm、高10 cm塑料杯中配对,杯底放有浸10%蜂蜜水的脱脂棉球,供其补充营养,杯口用160目纱布封口,并用橡皮筋捆住,每天19:00更换棉球。将配对的草地贪夜蛾成虫置于试验台上,试验台上方分别安装紫色、蓝色和绿色LED灯作为光源,黑暗处理不放置任何光源。从20:00至次日06:00为1个暗期,每隔30 min用弱红光手电筒观察1次雌成虫求偶、交配和产卵行为,并记录,每个处理观察30对,连续观察4个暗期。整个试验均在室内温度 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(70\pm 5)\%$ 、光周期14 L:10 D的人工气候室内进行。

1.2.2 不同光源对草地贪夜蛾求偶和交配行为的影响

取2日龄草地贪夜蛾雌、雄成虫按1:1配对后置于不同光源下进行处理,光源设置和观察方法同1.2.1,每个处理观察30对成虫。在暗期1,统计草地贪夜蛾雌成虫求偶、交配的数量,求偶开始时间和持续时间,交配开始时间和持续时间。暗期1至暗期4,对交配和未发生交配的草地贪夜蛾雌成虫进行编号,统计发生交配行为的时间及数量、累计交配时

间、累计交配次数、交配率、累计交配率。求偶开始时间=雌成虫开始求偶时间-暗期开始时间;求偶持续时间=雌成虫求偶结束时间-求偶开始时间;交配持续时间=交配结束时间-交配开始时间;累计交配时间=暗期1交配时间+暗期2交配时间+暗期3交配时间+暗期4交配时间;累计交配次数=暗期1交配次数+暗期2交配次数+暗期3交配次数+暗期4交配次数;交配率=单个暗期有交配行为的雌成虫数/总配对的雌成虫数 $\times 100\%$;累计交配率=4个暗期中有交配行为的雌成虫数/总配对雌成虫数 $\times 100\%$ 。

1.3 数据分析

采用SPSS 26.0软件对试验数据进行统计分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。交配率数据经过平方根反正弦转换后进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响

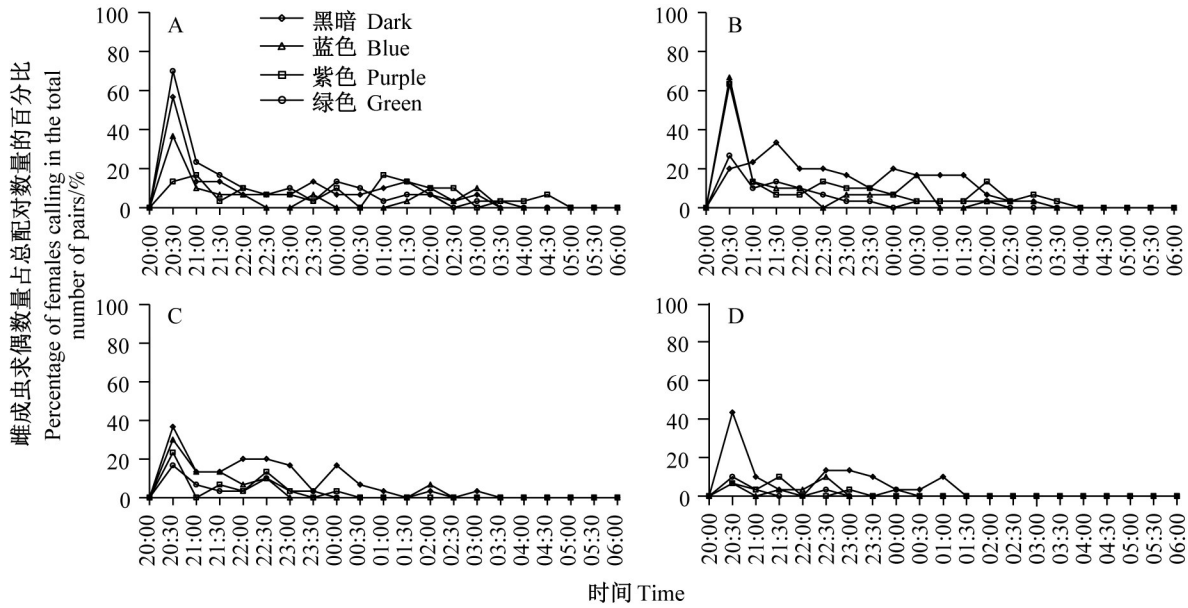
2.1.1 求偶节律

不同光源显著影响草地贪夜蛾雌成虫的求偶节律。在第1个暗期内,在黑暗、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶高峰期均在20:30,而在紫色光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶高峰期在21:00和01:00(图1-A);在第2个暗期内,在黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫的求偶高峰期在21:30,在蓝色、绿色和紫色光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶高峰期均在20:30(图1-B);在第3个暗期内,在所有光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶高峰期均在20:30和22:30,黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫在00:00还有1个求偶高峰期(图1-C);在第4个暗期内,在黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫的求偶高峰期在20:30,而其它处理无明显的求偶高峰期(图1-D)。

2.1.2 交配节律

不同光源显著影响草地贪夜蛾雌成虫交配节律。在第1个暗期内,在黑暗、蓝色、绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配高峰期分别在21:00、21:30和21:30,明显早于紫色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配高峰期22:30(图2-A);在第2和第3个暗期内,在紫色、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配高峰期明显比黑暗处理的交配高峰期早(图2-B~C);在第4个暗期内,在黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫的交配高峰期在22:30,其它3个光源下草地贪夜蛾雌成虫交配的峰值不明显(图2-D)。此外,与第1暗期相比,第2~4个暗期内黑暗处理下草地

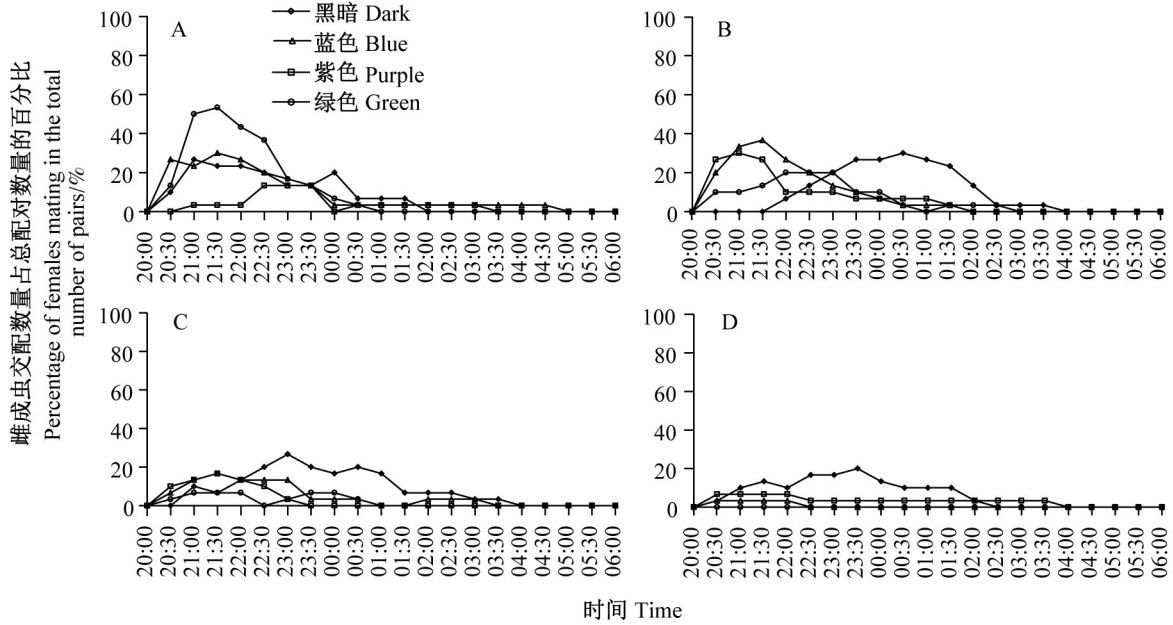
贪夜蛾雌成虫的交配高峰期相对延迟。



A~D: 第1~4个暗期。A~D: From the 1st dark time to the 4th dark time.

图1 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶节律

Fig. 1 Calling rhythms of *Spodoptera frugiperda* female adults under different light resources



A~D: 第1~4个暗期。A~D: From the 1st dark time to the 4th dark time.

图2 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配节律

Fig. 2 Mating rhythms of *Spodoptera frugiperda* female adults under different light resources

2.1.3 产卵节律

不同光源对草地贪夜蛾雌成虫产卵节律影响不明显。在第1个暗期内,仅有3.33%草地贪夜蛾雌成虫有产卵行为,即在蓝色光源下于05:30产卵(图3-A);在第2个暗期内,在黑暗、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的产卵高峰期均在20:30,明显

早于紫色光源下草地贪夜蛾雌成虫的产卵高峰期21:00(图3-B);在第3个暗期内,绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的产卵高峰期均在21:00(图3-C);在第4个暗期内,黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫的产卵高峰期在21:30,而其它3个光源下草地贪夜蛾雌

成虫的产卵高峰期均在20:30(图3-D)。

2.2 不同光源对草地贪夜蛾求偶和交配行为的影响

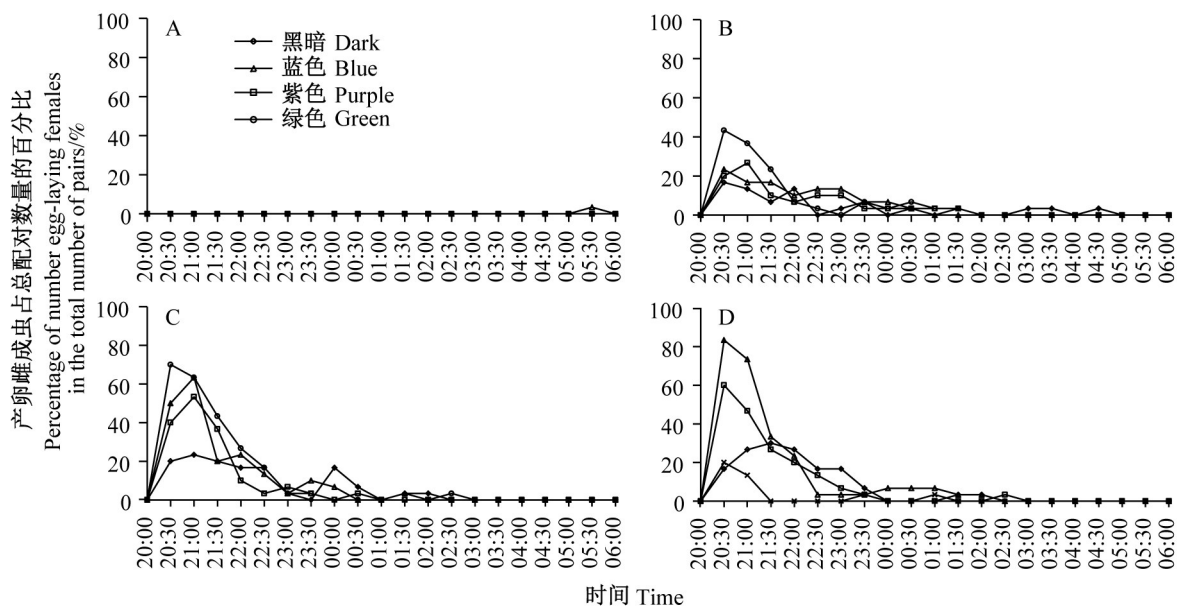
2.2.1 对草地贪夜蛾雌成虫求偶和交配时间的影响

不同光源显著影响草地贪夜蛾雌成虫的求偶和交配时间。在黑暗、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶和交配开始时间分别为暗期开始后的91.11、91.67和44.44 min, 交配开始时间分别为暗期开始后的114.00、80.77和63.53 min, 紫色光源下草地贪夜蛾求偶和交配开始时间分别为暗期开始后的169.50 min和188.57 min, 显著晚于其它3个光源下的求偶和交配开始时间($P<0.05$), 而4个光源下草地贪夜蛾雌成虫的求偶和交配持续时间差异不显著(表1)。不同光源显著影响草地贪夜蛾雌成虫累计交配时间, 其中黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫的累计交配时间最长, 为228.89 min, 显著高于其它3个

光源下的累计交配时间($P<0.05$), 紫色光源下草地贪夜蛾雌成虫的累计交配时间最短, 仅为127.50 min(图4-A)。

2.2.2 对草地贪夜蛾雌成虫交配次数及分布的影响

在4个连续暗期内, 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配次数介于0~5.00次之间, 其中在黑暗处理下交配次数最多为5.00次, 在紫色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配次数最多为3.00次, 而在蓝色光源下草地贪夜蛾雌成虫交配次数最多仅为2.00次; 在黑暗处理下草地贪夜蛾雌成虫平均交配次数为1.77次, 显著高于其它3个光源下的平均交配次数($P<0.05$)。在4种光源下, 草地贪夜蛾雌成虫交配1次的数量均显著高于其它交配次数($P<0.05$), 在草地贪夜蛾雌成虫交配次数相同的情况下, 4种光源下交配次数之间差异不显著(表2)。



A~D: 第1~4个暗期。A~D: From the 1st dark time to the 4th dark time.

图3 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的产卵节律

Fig. 3 Ovulating rhythms of *Spodoptera frugiperda* female adults under different light resources

表1 不同光源下2日龄草地贪夜蛾雌成虫求偶和交配的数量及时间

Table 1 Number and time of calling and mating of *Spodoptera frugiperda* female adults under different light resources

光源 Light resource	求偶 Calling			交配 Mating		
	数量 No.	开始时间 Onset time/min	持续时间 Duration time/min	数量 No.	开始时间 Onset time/min	持续时间 Duration time/min
黑暗 Dark	27	91.11±20.22 b	54.44±9.34 a	15	114.00±24.36 b	104.00±10.90 a
紫色 Purple	20	169.50±33.88 a	61.50±8.28 a	7	188.57±36.87 a	85.71±7.83 a
蓝色 Blue	18	91.67±28.85 b	43.33±4.98 a	13	80.77±27.88 b	129.23±79.03 a
绿色 Green	27	44.44±8.07 b	62.22±8.00 a	17	63.53±9.92 b	125.29±10.99 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

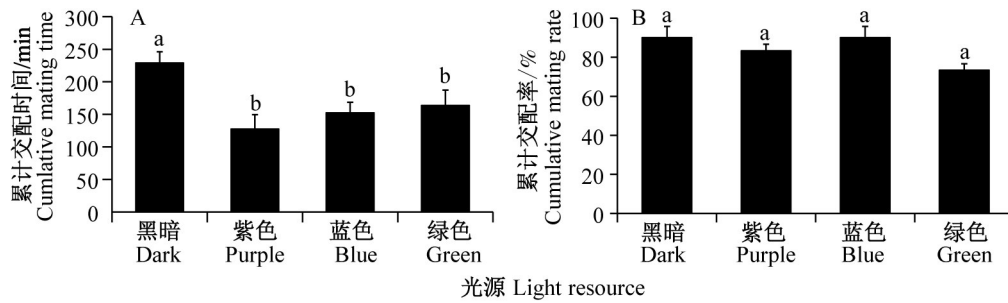


图4 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的累计交配时间(A)和累计交配率(B)

Fig. 4 Cumulative mating time (A) and mating rate (B) of *Spodoptera frugiperda* female adults under different light resources
 图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表2 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配次数及分布

Table 2 Distribution of mating times of *Spodoptera frugiperda* female adults under different light resources

光源 Light resource	交配次数 Frequency of mating						平均交配次数 Average frequency of mating
	0	1	2	3	4	5	
黑暗 Dark	1.00±0.58 BCa	4.33±0.33 Aa	2.33±0.33 Ba	1.00±0.58 BCa	1.00±0.58 BCa	0.33±0.33 Ca	1.77±0.23 a
紫色 Purple	2.00±0.58 Ba	5.33±0.33 Aa	2.33±0.33 Ba	0.33±0.33 Ca	0.00±0.00 Ca	0.00±0.00 Ca	1.10±0.14 b
蓝色 Blue	1.00±0.58 Ca	6.00±1.00 Aa	3.00±0.58 Ba	0.00±0.00 Ca	0.00±0.00 Ca	0.00±0.00 Ca	1.20±0.11 b
绿色 Green	2.33±0.33 Ba	5.33±0.33 Aa	1.67±0.33 Ba	0.67±0.33 Ca	0.00±0.00 Ca	0.00±0.00 Ca	1.07±0.15 b

表中数据为平均数±标准误。同行不同大写字母、同列不同小写字母分别表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different uppercase letters on the same row and different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2.3 对草地贪夜蛾雌成虫初次交配的影响

不同光源影响草地贪夜蛾的初次交配。在黑暗、蓝色和绿色光源下, 分别有 50.00%、50.00% 和 63.33% 草地贪夜蛾雌成虫在第 1 个暗期内完成初次交配; 而在紫色光源下, 有 46.67% 草地贪夜蛾雌成虫在第 2 个暗期内完成初次交配, 在黑暗、紫色、蓝

色和绿色光源下, 分别有 76.67%、70.00%、80.00% 和 80.00% 草地贪夜蛾雌成虫在前 2 个暗期内完成初次交配; 除黑暗处理下有 3.33% 草地贪夜蛾雌成虫在第 4 暗期内完成初次交配外, 其它 3 个光源下草地贪夜蛾雌成虫均在前 3 个暗期内完成初次交配(图 5)。

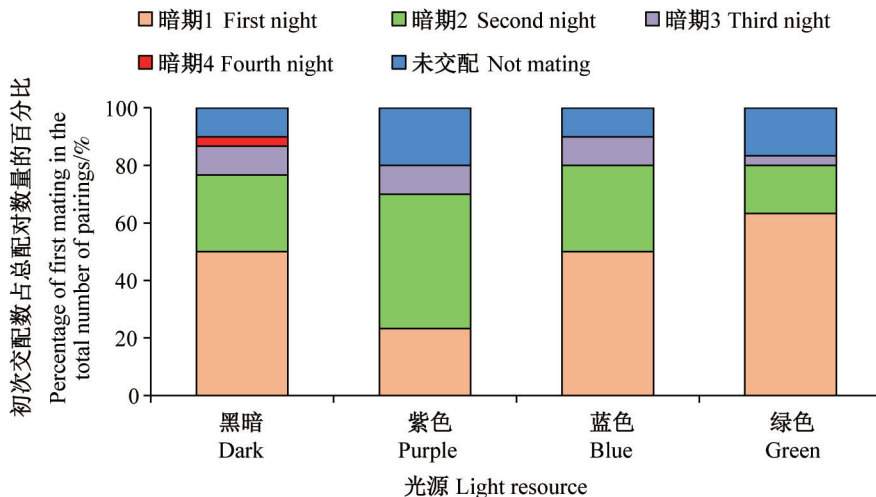


图5 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫初次交配数量的分布

Fig. 5 Distribution of *Spodoptera frugiperda* female adults in the first mating under different light resources

2.2.4 对草地贪夜蛾雌成虫交配率的影响

在黑暗处理下,不同暗期草地贪夜蛾雌成虫交配率之间差异不明显,而在蓝色、紫色和绿色光源下,大部分暗期草地贪夜蛾雌成虫交配率之间差异显著($P<0.05$,表3)。在第1个暗期内,紫色光源下草地贪夜蛾雌成虫交配率为23.33%,显著低于其它3个光源下的交配率($P<0.05$);在第2个暗期内,绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫交配率为33.33%,显著低于其它3个光源下的交配率($P<0.05$);在第3-4个

暗期,在蓝色、绿色和紫色光源下,草地贪夜蛾雌成虫交配率均显著低于黑暗处理下的交配率($P<0.05$),但三者之间差异不显著(表3)。在连续4个暗期内,不同光源下草地贪夜蛾雌成虫的累计交配率均在73.33%以上,其中黑暗和蓝色光源下草地贪夜蛾雌成虫的累计交配率最高,均达90.00%,紫色光源下累计交配率次之,为83.33%,绿色光源下累计交配率最低,为73.33%,但4个光源下累计交配率之间差异不显著(图4-B)。

表3 不同光源下草地贪夜蛾雌成虫在各暗期的交配率

Table 3 Mating rate of *Spodoptera frugiperda* female adults under each dark time in different light resources

光源 Light resource	不同暗期的交配率 Mating rate in different night/%			
	第1个暗期 First night	第2个暗期 Second night	第3个暗期 Third night	第4个暗期 Fourth night
黑暗 Dark	50.00±5.77 Aa	50.00±5.77 Aa	40.00±5.77 Aa	33.33±8.81 Aa
紫色 Purple	23.33±3.33 Bb	56.67±3.33 Aa	16.67±3.33 Bcb	6.67±3.33 Cb
蓝色 Blue	43.33±3.33 Aa	50.00±5.77 Aa	26.67±6.67 Bab	3.33±3.33 Cb
绿色 Green	56.67±3.33 Aa	33.33±3.33 Bb	13.33±3.3 Cb	0.00±0.00 Db

表中数据为平均数±标准误。同行不同大写字母、同列不同小写字母分别表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different uppercase letters on the same row and different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

昆虫大多数具有趋光性,其求偶、交配和产卵等生殖行为在夜间容易受到外界光源的干扰。分类地位接近的昆虫种类具有相似的敏感光谱。本研究结果表明草地贪夜蛾雌成虫与草地螟 *Loxostege sticticalis* (江幸福等,2010)、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (徐练,2016)、盐泽顶灯蛾 *Estigmene acrea* (Castrejon & Rojas,2010)等鳞翅目昆虫一样对紫色光源特别敏感,在紫色光源下表现异常兴奋。视蛋白对昆虫行为和生物钟节律有重要的调控作用(Moore & Whitmore,2014),当草地贪夜蛾雌成虫受到光源干扰后,光源刺激可能影响视蛋白的表达,从而导致草地贪夜蛾雌成虫求偶和交配行为节律发生改变(Wang et al.,2013;Zhu et al.,2014)。光周期对小地老虎 *Agrotis ipsilon* (向玉勇等,2018)、梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Li et al.,2019)、二化螟 *Chilo suppressalis* (Kanno,1981)和环带锦斑蛾 *Pseudopidorus fasciata* (Wu et al.,2014)等鳞翅目昆虫的求偶和交配节律产生影响。在暗期介入光源后会改变光周期,这可能是诱导草地贪夜蛾雌成虫交配行为节律发生改变的重要原因。此外,草地贪夜蛾雌成虫在紫色、蓝色和绿色弱光源下交配高峰期较黑

暗处理提前,说明弱光能促进草地贪夜蛾雌成虫的求偶并提前完成交配,闫硕等(2014)研究结果也表明弱光能够促进棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 提前完成交配。当受到光源干扰时,草地贪夜蛾雌成虫交配行为节律发生改变,但并非发生紊乱,而是对交配时间进行再分配,这说明当外界环境改变时,物种会改变生殖策略来保障生殖力(张晓娜,2011)。

视觉在昆虫行为活动中起着重要作用。光作为视觉搜索的基础能影响昆虫交配行为,当受到不同波长光刺激时昆虫会有不同程度的反应(Jiggins et al.,2001)。例如,不同波长光照射会显著影响异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的交配行为,其中在紫光395 nm和蓝光480 nm波长照射下的交配间隔时间和交配持续时间较短(王甦等,2014)。本研究结果也表明,紫色、蓝色和绿色光源下草地贪夜蛾雌成虫的交配持续时间均显著低于黑暗处理,交配次数也低于黑暗处理,可能原因是当受到外界光刺激时乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)活性容易发生改变,进而对其交配行为产生显著影响(Kim et al.,2016)。桑文等(2016)研究结果也表明紫外光照射能显著影响棉铃虫体内AChE活性,进而影响其趋光行为。本研究结果表明,在紫色光源下2日龄

草地贪夜蛾雌成虫的求偶和交配开始时间显著迟于黑暗、蓝色和绿色光源下的求偶和交配开始时间,且交配率最低;其次,紫色光源干扰下草地贪夜蛾雌成虫的初次交配高峰期从第1个暗期延迟到第2个暗期,究其原因可能是紫光照射影响草地贪夜蛾雌成虫体内AChE活性,进一步对神经递质乙酰胆碱的水解产生影响,草地贪夜蛾雌成虫通过调整自身行为对紫光刺激做出相应的响应(Appleyard, 1992)。

生产中黑光灯、高压汞灯和频振式杀虫灯的主波长集中在紫光区,这些杀虫灯在对草地贪夜蛾进行直接诱杀的同时,光源还能对草地贪夜蛾雌成虫的求偶和交配产生影响,进而达到防控草地贪夜蛾的目的。本试验仅是在室内封闭条件下进行,需要进一步在田间测定不同光源对草地贪夜蛾雌成虫生殖行为的影响。其次,本试验侧重评价不同光源对草地贪夜蛾雌成虫求偶、交配和产卵行为的影响,未涉及对成虫交配成功率、产卵量和孵化率的影响,今后还需进一步开展相关研究工作。

参 考 文 献 (References)

- APPLEYARD ME. 1992. Secreted acetylcholinesterase: non-classical aspects of a classical enzyme. *Trends in Neurosciences*, 15(12): 485-490
- BAUST JG, BENTON AH, AUMANN GD. 1981. The influence of offshore platforms on insect dispersal and migration. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 27(1): 23-25
- CASTREJON F, ROJAS JC. 2010. Behavioral responses of larvae and adults of *Estigmene acrea* (Lepidoptera: Arctiidae) to light of different wavelengths. *The Florida Entomologist*, 93(4): 505-509
- DING YQ, GAO WZ, LI DM. 1974. Study on the phototactic behavior of nocturnal moths: the response of *Heliothis armigera* (Hübner) and *Heliothis assulta* Guenée to different monochromatic light. *Acta Entomologica Sinica*, 17(3): 307-316 (in Chinese) [丁岩钦, 高慰曾, 李典谟. 1974. 夜蛾趋光特性的研究: 棉铃虫和烟青虫成虫对单色光的反应. *昆虫学报*, 17(3): 307-316]
- FIREBAUGH A, HAYNES KJ. 2016. Experimental tests of light-pollution impacts on nocturnal insect courtship and dispersal. *Oecologia*, 182(4): 1203-1211
- GUO JF, ZHAO JZ, HE KL, ZHANG F, WANG ZY. 2018. Potential invasion of the crop-devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China. *Plant Protection*, 44(6): 1-10 (in Chinese) [郭井菲, 赵建周, 何康来, 张峰, 王振营. 2018. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国. *植物保护*, 44(6): 1-10]
- JIANG XF, ZHANG ZZ, LUO LZ. 2010. Phototaxis of the beet webworm *Loxostege sticticalis* to different wavelengths and light intensity. *Plant Protection*, 36(6): 69-73 (in Chinese) [江幸福, 张总泽, 罗礼智. 2010. 草地螟成虫对不同光波和光强的趋光性. *植物保护*, 36(6): 69-73]
- JIGGINS CD, NAISBIT RE, COE RL, MALLETT J. 2001. Reproductive isolation caused by colour pattern mimicry. *Nature*, 411(6835): 302-305
- KANNO H. 1981. Mating behaviour of the rice stem borer moth, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae): VI. effects of photoperiod on the diel rhythms of mating behaviours. *Applied Entomology and Zoology*, 16(4): 406-411
- KIM M, KWON H, KWON H, KIM W, KIM Y. 2016. Enhanced acetylcholinesterase activity of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*, under chlorine dioxide treatment and altered negative phototaxis behavior. *Korean Journal of Applied Entomology*, 55(1): 27-33
- LI XW, JIA XT, XIANG HM, DIAO HL, YAN Y, WANG Y, MA RY. 2019. The effect of photoperiods and light intensity on mating behavior and reproduction of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 48(5): 1035-1041
- LIU YJ, ZHANG DD, YANG LY, DONG YH, LIANG GM, PHILIP D, REN GW, XU PG, WU KM. 2020. Analysis of phototactic responses in *Spodoptera frugiperda* using *Helicoverpa armigera* as control. *Journal of Integrative Agriculture*, 19: 2-9
- MOORE HA, WHITMORE D. 2014. Circadian rhythmicity and light sensitivity of the zebrafish brain. *PLoS ONE*, 9(1): e86176
- PAN WB. 2019. Ministry of Agriculture and Rural Affairs holds press conference on prevention and control of *Spodoptera frugiperda*. http://www.moa.gov.cn/hd/zbft_news/cdyefk/. 2019-09-17 (in Chinese) [潘文博. 2019. 农业农村部就草地贪夜蛾防控工作举行新闻发布会. http://www.moa.gov.cn/hd/zbft_news/cdyefk/. 2019-09-17]
- QIU XF, XIE JK, WU LP, YU Q, ZHANG MM, WANG GY, XU SH, TU XY. 2016. Effects of varied photoperiods on the mating and oviposition of *Brithys crini* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. *Acta Entomologica Sinica*, 59(10): 1103-1114 (in Chinese) [邱小芳, 谢建坤, 吴丽萍, 喻琴, 张萌萌, 王光耀, 徐韶晖, 涂小云. 2016. 光周期变化对毛健夜蛾交配和产卵的影响. *昆虫学报*, 59(10): 1103-1114]
- SANG W, HUANG QY, WANG XP, GUO SH, LEI CL. 2019. Progress in research on insect phototaxis and future prospects for pest light-trap technology in China. *Journal of Applied Entomology*, 56(5): 907-916 (in Chinese) [桑文, 黄求应, 王小平, 郭墅濠, 雷朝亮. 2019. 中国昆虫趋光性及灯光诱虫技术的发展、成就与展望应用. *昆虫学报*, 56(5): 907-916]
- SANG W, ZHU ZH, LEI CL. 2016. Review of phototaxis in insects and an introduction to the light stress hypothesis. *Journal of Applied Entomology*, 53(5): 915-920 (in Chinese) [桑文, 朱智慧, 雷朝亮. 2016. 昆虫趋光行为的光胁迫假说. *应用昆虫学报*, 53(5): 915-920]
- SPARKS AN, JACKSON RD, CARPENTER JE. 1986. Insects captured in light traps in the Gulf of Mexico. *Annals of the Entomological Society of America*, 79(1): 132-139
- TIAN TA, SHANG SH, WANG XY, YANG ZY, LI XW, YU XF, YANG MF. 2019. Phototaxis of *Spodoptera litura* adults with different feed. *Guzhou Agricultural Sciences*, 47(8): 71-74 (in Chi-

- nese) [田太安, 商胜华, 王小彦, 杨在友, 李喜旺, 于晓飞, 杨茂发. 2019. 不同食料斜纹夜蛾成虫的趋光性. 贵州农业科学, 47(8): 71-74]
- WANG B, XIAO JH, BIAN SN, NIU LM, MURPHY RW, HUANG DW. 2013. Evolution and expression plasticity of opsin genes in a fig pollinator, *Ceratosolen solmsi*. PLoS ONE, 8(1): e53907
- WANG QQ, CUI L, WANG L, LIANG P, YUAN HZ, RUI CH. 2019. Research progress on insecticides resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Journal of Pesticide Science, 21(4): 401-408 (in Chinese) [王芹芹, 崔丽, 王立, 梁沛, 袁会珠, 芮昌辉. 2019. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展. 农药学报, 21(4): 401-408]
- WANG S, GUO XJ, ZHANG JM, ZHANG F. 2014. Copulatory behavior of predacious ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) under different illuminative conditions. Acta Ecologica Sinica, 34(24): 7428-7435 (in Chinese) [王甦, 郭晓军, 张君明, 张帆. 2014. 异色瓢虫不同光环境下的交配行为. 生态学报, 34(24): 7428-7435]
- WEI GS, ZHANG QW, ZHOU MZ, WU WG. 2000. Studies on the phototaxis of *Helicoverpa armigera* (Hübner). Acta Biophysica Sinica, 16(1): 89-95 (in Chinese) [魏国树, 张青文, 周明群, 吴卫国. 2000. 不同光波及光强度下棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)成虫的行为反应. 生物物理学报, 16(1): 89-95]
- WESTBROOK JK, NAGOSHI RN, MEAGHER RL, FLEISCHER SJ, JAIRAM S. 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. International Journal of Biometeorology, 60(2): 255-267
- WU KM. 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. Plant Protection, 46(2): 1-5 (in Chinese) [吴孔明. 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1-5]
- WU SH, REFINETTI R, KOK LT, YOUNGMAN RR, REDDY GVP, XUE FS. 2014. Photoperiod and temperature effects on the adult eclosion and mating rhythms in *Pseudopidorus fasciata* (Lepidoptera: Zygaenidae). Environmental Entomology, 43(6): 1650-1655
- XIANG YY, LIU TX, ZHANG SZ. 2018. Effects of temperature, humidity, photoperiod and host plants on the calling and mating behavior of female moths of black cutworm *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel). Journal of Plant Protection, 45(2): 235-242 (in Chinese) [向玉勇, 刘同先, 张世泽. 2018. 温湿度、光周期和寄主植物对小地老虎求偶及交配行为的影响. 植物保护学报, 45(2): 235-242]
- XU L. 2016. Research on the phototaxis of *Harmonia axyridis*, *Ostrinia furnacalis* and *Bemisia tabaci*. Master Thesis. Changsha: Hunan Agricultural University (in Chinese) [徐练. 2016. 异色瓢虫、玉米螟和烟粉虱的趋光性研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学]
- XU Z, CUI J, BI R, GAO Y, SHI SS. 2019. Effects of light intensity on the growth, development and reproduction of *Megacopta cribraria* (Hemiptera: Plataspidae). Acta Entomologica Sinica, 62(5): 645-652 (in Chinese) [许喆, 崔娟, 毕锐, 高宇, 史树森. 2019. 光照强度对筛豆龟蝽生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 62(5): 645-652]
- YAN S, LI HT, ZHU WL, ZHU JL, ZHANG QW, LIU XX. 2014. Effects of light intensity on the sexual behavior of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Acta Entomologica Sinica, 57(9): 1045-1050 (in Chinese) [闫硕, 李慧婷, 朱威龙, 朱家林, 张青文, 刘小侠. 2014. 光强度对棉铃虫交配行为的影响. 昆虫学报, 57(9): 1045-1050]
- ZHANG XN. 2011. Study on mating age and fertility of *Harmonia axyridis*. Master Thesis. Xi'an: Shaanxi Normal University (in Chinese) [张晓娜. 2011. 异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)交配日龄及其生殖力研究. 硕士学位论文. 西安: 陕西师范大学]
- ZHU EY, GUNTUR AR, HE R, STERN U, YANG CH. 2014. Egg-laying demand induces aversion of UV light in *Drosophila* females. Current Biology, 24(23): 2797-2804

(责任编辑:张俊芳)